

**UNIVERSIDAD DE PANAMA
VICERECTORÍA DE INVESTIGACION Y POSTGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE LOS SANTOS
PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS AGRICOLAS CON ENFASIS EN
MANEJO DE SUELOS Y AGUA**

***AZOLLA* COMO SUSTITUTO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN EL
CULTIVO DE ARROZ DE SUBSISTENCIA**

**ADELAIDA GISELA GONZALEZ SALAZAR
C.I.P. 7-105-823**

LAS TABLAS, PROVINCIA DE LOS SANTOS, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2019

**AZOLLA COMO SUSTITUTO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN EL
CULTIVO DE ARROZ DE SUBSISTENCIA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE MAGISTER DE CIENCIAS AGRÍCOLAS CON
ENFASIS EN MANEJO DE SUELOS Y AGUA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO

_____ **ASESOR**

Ph.D. Francisco Mora

_____ **JURADO**

M.Sc. José Rivera

_____ **JURADO**

M.Sc. Franklin Wilcox

2019

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, nos hiciste a tu imagen y semejanza para hacer cosas grandes en bien de todos, sobre todo de la casa común. A la que espero contribuir con mi granito de arena.

A mi Familia, que en las buenas y las malas han estado a mi lado. A los que están vivos y comparten este momento, y a los que se han adelantado y desde el recuerdo forman parte de este trabajo.

A los Campesinos de mi Panamá, quienes bajo el sol y la lluvia, buscan el sustento para sus familias y vecinos. Este trabajo es para ayudarlos a ser mejores en su jornada.

Virgencita.... ¡Estoy cumpliendo mi promesa!

AGRADECIMIENTO

A mi Asesor de Tesis, Doctor Francisco Mora Solís. Gracias por su ejemplo, paciencia, tiempo y entusiasmo para recorrer este camino poco transitado.

A los Miembros del Jurado de este trabajo de investigación, Msc. José N. Rivera y Msc. Franklin Wilcox, porque sus observaciones han nutrido de conocimientos y experiencia este trabajo.

A los Colaboradores de Granja Escuela Casiciaco Haren Alde, por su colaboración fundamental en este trabajo.

A mis Compañeros de Maestría. Fueron dos años de desvelos, viajes interminables y compañerismo al máximo nivel.

Al Doctor Mariano Montaña, quien desde la distancia y cercanía del correo ha estado pendiente de avances y proporcionándome datos adicionales para entender el fascinante mundo de la Azolla.

A todos los Docentes de la Maestría de Ciencias Agrícolas con Énfasis en Manejo de Suelos y Agua. Sus conocimientos han dado fruto en las investigaciones de todos nosotros.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS:	6
a. OBJETIVO GENERAL:	6
b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1 Fertilización nitrogenada de los cultivos.....	7
2.2 <i>Azolla-Anabaena</i> como fertilizante	11
2.3 Taxonomía del sistema <i>Azolla-Anabaena</i>	17
2.4 <i>Azolla</i> en Panamá	18
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1 Área de estudio.....	21
3.2 Diseño del ensayo	24
3.7. Metodología de tratamiento de <i>Azolla pinnata</i>	28
3.7 Aplicación nitrogenada por unidad experimental	33
3.8. Determinación de peso de los tratamientos aplicados en el ensayo.....	34
3.9 Parámetros a evaluar:	38
3.10 Análisis estadístico.....	39
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
Costo de fertilizante	54
V CONCLUSIONES.....	57
VI RECOMENDACIONES	59
VI BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de Azolla pinnata- Anabaena azollae	13
Tabla 2. Características agronómicas y potencial de rendimiento de arroz variedad Picaporte.	23
Tabla 3. Resultado de análisis de muestra de suelo de la parcela 4 de GECHA	29
Tabla 4. Interpretación de análisis de muestra de suelo de parcela 4 GECHA.....	30
Tabla 5. Resultado de análisis bromatológico muestra de Azolla pinnata.....	31
Tabla 6. Interpretación de análisis bromatológico muestra de Azolla pinnata	31
Tabla 7. Determinación de peso de los diferentes tratamientos aplicados.....	34
Tabla 8. Precipitación durante el tiempo del ensayo	37
Tabla 9 ANOVA de altura de planta.....	39
Tabla 10. Comparación de media de altura de plantas por tratamiento	40
Tabla 11. Comparación altura media de plantas por tratamiento y fecha de siembra	41
Tabla 12. Cuadro ANOVA Ahije por golpe.	42
Tabla 13. Comparación de medias ahije por golpe.....	42
Tabla 14. Comparativo de medias. Ahije por tratamiento y fecha de siembra	43
Tabla 15. Cuadro ANOVA, Materia seca total.	44
Tabla 16. Comparativo de medias. Materia seca total por tratamiento	45
Tabla 17. ANOVA Rendimiento de cosecha (toneladas)	46
Tabla 18. Comparativo de medias. Rendimiento de cosecha (toneladas).....	46
Tabla 19. Comparativo de medias. Rendimiento por tratamiento y fecha de siembra	47
Tabla 20. Cuadro de ANOVA. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa	48
Tabla 21. Comparativo de medias. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa	49
Tabla 22. Comparativo de medias. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa por fecha de siembra	50

Tabla 23. Comparativo de medias. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa por tratamiento y fecha de siembra	51
Tabla 24. ANOVA Rendimiento total en molino (porcentaje).....	52
Tabla 25. Comparativo de medias. Rendimiento total en molino (porcentaje)	53
Tabla 26. Comparativo de medias. Rendimiento en molino por fecha de siembra	54
Tabla 27. ANOVA Porcentaje de granos enteros	54
Tabla 28. Comparativo de medias. Porcentaje de granos enteros.....	55
Tabla 29. Comparativo de medias. Porcentaje de granos enteros por fecha de siembra .	56
Tabla 30. Costo de tratamiento tradicional vs Azolla primera cosecha.....	57
Tabla 31. Costo de tratamiento tradicional vs Azolla segunda cosecha	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de Nitrógeno Fuente: Taiz, 2006.	8
Figura 2. Azolla con la cianobacteria Anabaena en la cavidad de la hoja. Corte transversal. Fuente: Sevillano, y colaboradores, 1984.	12
Figura 3. Azolla pinnata que se utilizó en el experimento. Fuente: Autora. 2017.....	14
Figura 4. Laguna de Azolla pinnata de donde se extrajo el material para el ensayo. Fuente, autora 2017.....	17
Figura 5. Cianobacteria Anabaena azollae. Se observa la morfología filamentosa típica y dos heterocistos (fuente. Jhon Walsh. Science Photo Library.	18
Figura 6. Ubicación nacional de GECHA. Fuente Luis A. Barahona A. 2019.....	21
Figura 7. Ubicación Regional de GECHA. Fuente, Luis A. Barahona. A. 2019.....	21
Figura 8. Granja Escuela Casiciaco Haren Alde, Las Minas. Parcela de ensayo. Fuente: Google maps. 2017	22
Figura 9. Mapa de zonas de vida Holdridge. Muestra zona de vida en el área del ensayo. Fuente, Luis A. Barahona. A. 2019	22
Figura 10. Distribución de tratamientos sembrados 25 y 26 septiembre 2017	26
Figura 11. Distribución de tratamientos sembrados 9 y 10 de octubre 2017	27
Figura 12. Azolla pinnata lista para cosecha. Fuente: autora. 2017.....	28
Figura 13. Molido de Azolla pinnata Fuente autora 2017	29
Figura 14. Mezcla de urea y Azolla pinnata antes de la aplicación a parcelas. Se observan tratamientos 4 (arriba) y 5 (abajo) antes de mezclados. Fuente: autora 2018	35
Figura 15. Parcela de arroz ya fertilizada. Fuente autora 2017.....	36
Figura 16. Golpe de siembra mostrando ahije. Fuente: autora. 2017.	37

AZOLLA COMO SUSTITUTO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN EL CULTIVO DE ARROZ DE SUBSISTENCIA

RESUMEN

En la Granja Escuela Casiciaco Haren Alde, distrito de Las Minas, se realizó esta investigación cuyo objetivo principal era: establecer la capacidad de la *Azolla* como sustituto de la fertilización nitrogenada amoniacal, sin reducción en el rendimiento de cosecha en el cultivo de arroz de subsistencia. El ensayo consistió en dos bloques de seis tratamientos y tres repeticiones en cada bloque. Cada bloque representa una fecha de siembra. Cada unidad experimental consistía en parcelas de 2x5 metros, separados un metro. Cada unidad experimental se sembró a chuzo a una distancia de 30 cms entre surcos y 15 cms entre planta. En cada golpe se colocaron 8 semillas de arroz. Se analizaron 6 tratamientos, en los que se establecieron diferentes combinaciones de Urea y *Azolla pinnata* como fuente de fertilización nitrogenada para el cultivo. Antes del establecimiento del ensayo se realizaron análisis físico químicos al terreno y a la Azolla a utilizar, para determinar la proporción de la planta a aplicar en cada unidad experimental. Las proporciones de Urea y Azolla en cada tratamiento decrecían o aumentaban un 25 por ciento del total. A la hora de la fertilización de los bloques, el segundo bloque se fertilizó 15 días antes del tiempo de fertilización del primer bloque. En las unidades experimentales se analizaron tanto variables de cultivo, como de rendimiento. Entre los tratamientos aplicados no se observa diferencia significativa en los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento, salvo el caso del testigo absoluto del ensayo.

Palabras clave: Azolla, arroz de subsistencia, fertilización nitrogenada, rendimiento.

AZOLLA AS A SUBSTITUTE FOR NITROGEN FERTILIZERS IN THE RICE CROP OF SUBSISTENCE

ABSTRACT

This research was carried out in the Casiciaco Haren Alde School Farm, in the district of Las Minas; its main objective was to establish the capacity of the Azolla as a substitute for the ammonia nitrogen fertilization without reduction in the harvest yield in subsistence rice harvest. The test consisted of two blocks of six treatments and three repetitions in each block. Each block represents a planting date. Each experimental unit consisted of plots of 2x5 meters, separated by a meter between them. Each experimental unit was seeded manually at a distance of 30 cm between rows and 15 cm between plants. In each stroke, 8 rice seeds were placed. Six treatments were analyzed in which different combinations of urea and Azolla pinnata were established as a source of nitrogen fertilization for the crop. Before the establishment of the experiment, physical chemical analyzes were made to the soil and to the Azolla to be used in the test to determine the proportion of the plant to be applied in each experimental unit. The proportions of urea and Azolla in each treatment decreased or increased by 25 percent of the total. During the time of the fertilization of the blocks, the second block was fertilized 15 days before the time of fertilization compared to the first block. In the experimental units, both crop and yield variables were analyzed. Among the treatments applied, no significant difference was observed in the results obtained in terms of performance, except in the case of the absolute control of the trial.

Keywords: Azolla, subsistence rice, nitrogen fertilization, yield.

INTRODUCCIÓN

El inicio de la agricultura es confuso en la historia del hombre. Inicialmente para su subsistencia era un recolector y cazador nómada que se movía buscando sus presas. Fue después de muchas observaciones que vio la comodidad que le ofrecían plantas que podían aplacar su hambre. De allí a separar las mejores semillas para luego sembrar para cosechar era un paso. Pero necesitaría observar y catalogar para mirar que el suelo afecta el rendimiento. Allí nació el concepto de fertilización de suelos. Inicialmente con productos orgánicos, (desechos animales y/o vegetales) o ubicando las mejores tierras para sembrar.

La premisa de que un suelo oscuro tiene alto porcentaje de materia orgánica, la fuente de mayor nutrición para los cultivos depende de la textura del suelo estudiado. Los suelos arenosos se oscurecen con un porcentaje relativamente bajo de materia orgánica, observándose suelos arenosos oscuros con 3 a 4 por ciento de materia orgánica; mientras que los suelos con alto contenido de arcilla, al tener una superficie específica mayor requieren un porcentaje mucho más alto para tomar una coloración oscura. En algunos casos se requiere de diez a quince por ciento.

Fue luego de la Revolución Industrial y el aumento de la población que se requirieron fertilizantes eficientes y de fácil preparación; pero la asimilación de los mismos por el cultivo no abarca el cien por ciento del producto, que al quedarse en el suelo tiende a remover de los sitios de intercambio de las partículas del suelo, los nutrientes que

naturalmente este ofrece a las plantas. Este proceso se conoce como acidificación de los suelos. El descenso de los elementos a las aguas subterráneas es conocido como percolación, que se observa sobre todo en regiones agrícolas con altas precipitaciones y en donde los productores no realizan los análisis de suelo para verificar los requerimientos de cada cultivo, siendo la práctica más utilizada en el área, el uso del abono 12-24-12 y la urea en dosis recomendadas entre ellos.

Desde hace cientos de años, civilizaciones antiguas han utilizado los dones de la Naturaleza para mejorar la cantidad de producción de sus cultivos. En la antigüedad las civilizaciones más poderosas se gestaron en la orilla de caudalosos ríos. El río Nilo por los egipcios; los ríos Éufrates y Tigris por los persas; Ganges e Indo por los hindúes; los ríos Amarillo y Yangtsé por los chinos entre otras culturas. Los campesinos de sus riberas, aprovechaban las avenidas o inundaciones de los bajos para reanimar sus tierras agotadas. Nuestros campesinos también conocen la riqueza de los bajos de río; sobre todo después de ser anegados por las crecidas, que trasladan la fertilidad de suelos de la cuenca alta hacia las llanuras. En Asia, se ha desarrollado, desde hace milenios, la cultura del cultivo de arroz en inundación. Con una característica diferente. Los suelos de las melgas no se fertilizan por crecidas de los ríos. Desde milenios los campesinos de Asia, en especial de China, han utilizado una planta acuática que, trabajando en simbiosis con una bacteria fijadora de nitrógeno, fijando en la planta este elemento, que al descomponerse en el suelo brinda su fertilidad al cultivo de arroz. El helecho acuático *Azolla sp.* en simbiosis con la Cianobacteria *Anabaena azollae*.

La aplicación de *Azolla sp.*, además de proporcionar el elemento nitrógeno en altas proporciones para ser un producto natural, ofrece además un alto porcentaje de Materia Orgánica al suelo, que balancea el nivel de acidez en los suelos.

En este ensayo se trabajó parcelas de arroz de subsistencia con fertilización nitrogenada de dos fuentes: Urea al 42 por ciento y *Azolla pinnata* en diferentes combinaciones entre ellos, para determinar si la fertilización de las parcelas con éste helecho como fuente de nitrógeno, logra rendimientos parecidos a los obtenidos en el país en cultivo de subsistencia. También se establecerá comparación con los resultados reportados en Asia, tomando en cuenta que el sistema de cultivo en nuestro país es el de secano favorecido, mientras que en Asia lo es en inundación.

De igual manera se espera obtener información de la reducción en los costos de producción del cultivo utilizando este producto natural, tomando en cuenta que la fertilización representa el mayor costo en la producción de arroz, ya sea comercial o de subsistencia.

OBJETIVOS:

a. OBJETIVO GENERAL:

Determinar la capacidad de *Azolla pinnata*, como un sustituto de la fertilización nitrogenada amoniacal sin afectar el rendimiento de las cosechas.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar diferentes niveles de fertilización nitrogenada con la combinación Urea-*Azolla pinnata* versus la fertilización nitrogenada tradicional en la producción de arroz de subsistencia.
- Determinar la afectación de las variables de producción analizadas en respuesta a los diferentes niveles de fertilización aplicados.
- Establecer un análisis económico de los tratamientos aplicados en el ensayo en relación a la productividad obtenida en cada tratamiento.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Fertilización nitrogenada de los cultivos.

Es ampliamente conocido y estudiado que el aporte de nutrientes a los cultivos por medio de fertilizantes químicos que apoyan la fertilidad natural del suelo, sobre todo de cultivos extensivos, ha llevado al aumento de su productividad y ha sido la base de las mejoras genéticas tanto de campo (cruces entre variedades) como de laboratorio (biogenética).

En el caso de la fertilización nitrogenada, el más extendido uso es el de la Urea, una sustancia de origen amídico, sintetizada en fábricas y que posee características que la hacen muy atractiva como fertilizante, por las siguientes razones:

- Alta concentración de nitrógeno por peso total
- Relativamente bajo costo
- Alta solubilidad del compuesto inicial que permite una rápida absorción por el cultivo.

De igual manera, ella presenta algunas desventajas que deben tomarse en cuenta y que fueron presentadas por Fernández (1984):

- Pérdida por evaporación y lixiviación
- Daños al cultivo por fertilización localizada
- Acidificación del suelo

La fertilización nitrogenada de origen amoniacal, debido a su composición, está establecido que promueve un descenso en el pH del suelo, disminución de la Materia Orgánica y, por ende, el rendimiento de los cultivos se ve afectado. La aplicación indiscriminada de abonos amoniacales es reconocida desde hace mucho tiempo como una fuerte generadora de acidificación de los suelos, siendo establecida por Pierre (1928) como el proceso de nitrificación de fertilizantes nitrogenados que contienen amonio, que en su transformación a nitratos, liberan iones H^+ que desplazan otros iones de los sitios de intercambio liberándolos a la solución del suelo y de allí, si no son absorbidas por las raíces se pierden hacia las aguas subterráneas.

El ciclo del Nitrógeno presenta las diferentes formas en que este elemento es asimilado por los cultivos, dependiendo de las condiciones ambientales. Como se observa en la figura 1, las plantas asimilan el elemento en forma principalmente de amonio nitritos y nitratos. Dependiendo de la forma en que se presente el mineral, su asimilación por los cultivos será más o menos eficiente. Siendo los diferentes fertilizantes químicos uno de los mayores productores de fertilidad a los cultivos; pero a su vez, generadores de deficiencias de otros elementos y acidez en las parcelas de cultivo.

En las capas superficiales del suelo, lo que llamamos capa arable y que en nuestro país por lo general se habla de 20 centímetros de suelo, generalmente el nitrógeno se encuentra en forma orgánica, generado por la descomposición de residuos de plantas y animales

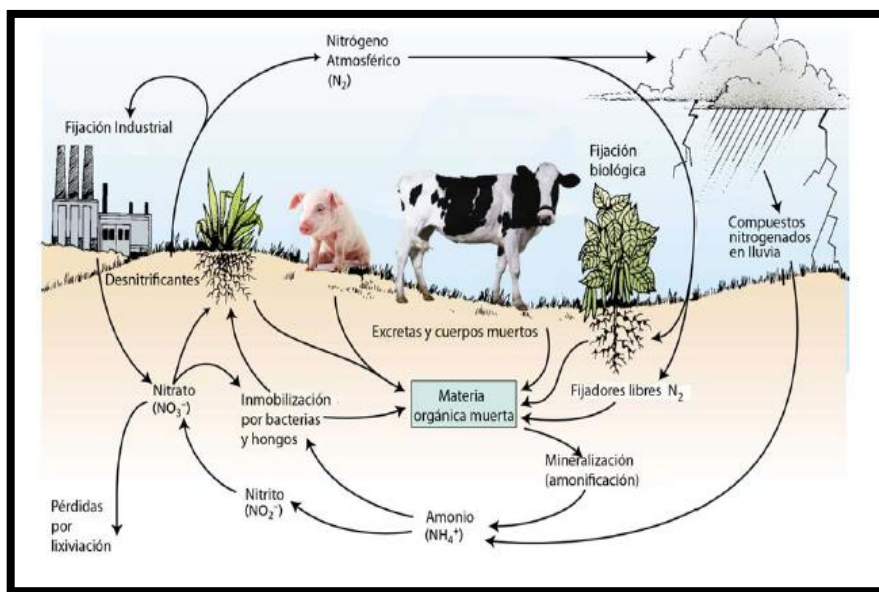


Figura 1. Ciclo de Nitrógeno Fuente: Taiz, 2006.

Para evitar esta pérdida de nutrientes por la aplicación de fertilizantes nitrogenados amoniacales y amidicos como la urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio, es necesario enmendar la parcela, estableciendo Chien y colaboradores (2008), que, aunque todas las fuentes acidifican el suelo, es el sulfato de amonio el que tiene mayor impacto acidificante. El trabajo de enmienda con cal genera costos para mantener la productividad de cualquier cultivo, aunque es una labor que repercute en la calidad del suelo. En Panamá no es muy utilizado el sulfato de amonio; siendo preferido por los productores de arroz, sobre todo los de subsistencia, el uso de la Urea en sus parcelas de cultivo. Esencialmente, se utiliza por la alta proporción del nutriente presente en el compuesto y su relativamente rápida absorción por las plantas si se dan las condiciones de humedad requeridas para la disolución del compuesto en la solución del suelo, elevando el nivel de acidificación de los suelos productivos a nivel nacional.

Esta actividad acidificante es independiente del orden de suelo a que pertenezca la parcela. Se registra que suelos andisoles en Chile presentan un descenso en el pH del suelo, a pesar de las altas propiedades buffer de estos suelos; sobre todo después de la sustitución del salitre o nitrato de sodio, por fertilizantes amoniacales y amídicos, la urea, sobre todo, como fuente de nitrógeno a los cultivos como lo indican Sadzawka y colaboradores (2006).

El nitrógeno aplicado por medio de fertilizantes químicos, conlleva una serie de riesgos sobre todo si la aplicación es mayor a la que se requiere para el cultivo. Sapiña (2006), indica como importantes:

- Aumento en la concentración de dióxido de nitrógeno, un gas de efecto invernadero en la atmosfera.
- Cambios en el ciclo del carbono
- Disminución de nutrientes como calcio y potasio.
- Pérdida de la biodiversidad

Ahora bien, ciertamente no solo los fertilizantes amoniacales son responsables de la liberación de iones H^+ en el suelo; pero ésta es la fuente que puede ser más fácilmente controlada; inicialmente estableciendo programas de fertilización científicos y específicos para cada parcela que incluyan programas de encalamiento que corrijan la acidez y utilizando fuentes de nitrógeno no contaminantes o menos agresivas.

Montaño (2005) indica que la deficiencia en Nitrógeno y materia orgánica en los suelos agrícolas es cada vez más crítica. El uso generalizado de fertilizantes artificiales, como la urea, si bien mantiene la producción arroceras, a medida que pasa el tiempo, tiende a acidificar los suelos agrícolas por la liberación a la solución del suelo de iones H

acidificantes, promover la compactación de suelos, propiciar cambios en la actividad microbiológica y química del suelo.

El exceso de fertilización con nitrógeno inorgánico, por medio de los procesos de percolación y escorrentía, participan en la contaminación de las aguas superficiales y las aguas profundas en el subsuelo, generando situaciones de riesgo tanto para la flora y fauna de cuerpos acuáticos por el proceso de eutrofización y aguas de uso humano cargadas de sales, establecido por Claros en su investigación (2012).

Rojas, y otros, (1983) establecieron tres grupos de respuesta a los niveles de Nitrógeno:

- Suelos de reciente uso en arroz.
- Suelos de uso constante y de buena calidad para el cultivo.
- Suelos de uso constante con restricciones de humedad.

Determinaron los autores que, si bien el nitrógeno es esencial para el crecimiento y productividad del cultivo de arroz, en dosis por encima de 110 kg/ha en parcelas de arroz, tiende a reducir tanto la productividad como la fertilidad de flores en las espigas.

2.2 Taxonomía del sistema *Azolla-Anabaena*

Coronel (2011) establece que la *Azolla* es un helecho acuático, con hojas triangulares o poligonales, que flotan en la superficie del agua, dando la apariencia de una alfombra de color verde o rojizo. Colgando hacia el agua, se encuentran las raíces adventicias, que dependiendo de la profundidad del lago pueden introducirse en el lodo del fondo. Puede reproducirse tanto vegetativa, como sexualmente. Siendo la primera la forma más común

de reproducción, ya que la sexual está influenciada por factores ambientales. La reproducción se da por fragmentación de las hojas, cuando los rizomas de abscisión se separan de la planta madre y se empieza a generar una nueva fronda foliar. Se estima que en 15- 20 días alcanza su crecimiento total y nuevamente inicia el ciclo de crecimiento.

Taxonómicamente la simbiosis *Azolla-Anabaena* se establece en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Taxonomía de *Azolla pinnata*- *Anabaena azollae*

Taxonomía	Helecho	Cianobacteria
División	Pteridophyta	Cyanophyta
Clase	Filicopsida	Cyanophyceae
Orden	Salviniales	Nostocales
Familia	Azollaceae	Nostocaceae
Genero	<i>Azolla</i>	<i>Anabaena</i>
Especie	<i>pinnata</i>	<i>Azollae</i>
N.C.	<i>Azolla pinnata</i>	<i>Anabaena azollae</i>

Fuente: Montaña, 2010.

En condiciones ideales, la simbiosis puede fijar de 30 a 50 kg de N por hectárea en 30 días.

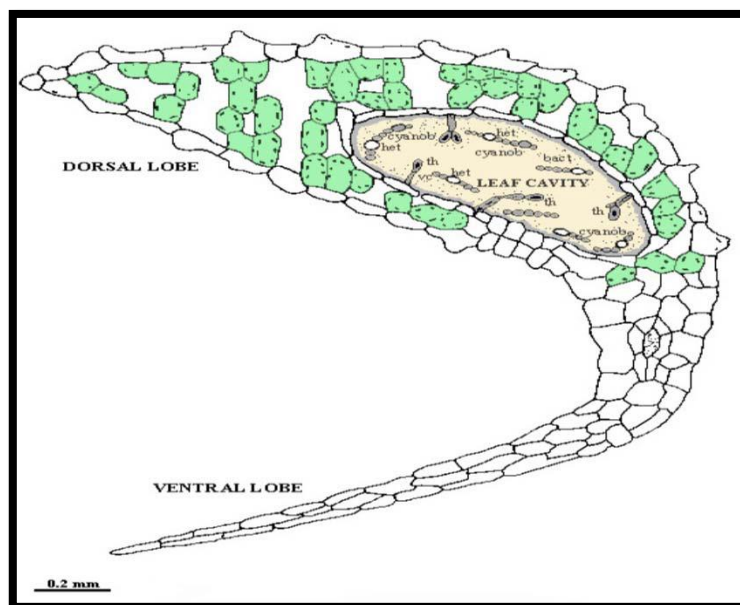


Figura 2. *Azolla* con la cianobacteria *Anabaena* en la cavidad de la hoja. Corte transversal. Fuente: Sevillano, y colaboradores, 1984.

Existen muchas especies de *Azolla*, sólo el IRRI (Instituto Internacional de Investigación de Arroz, Filipinas) mantiene alrededor de 500 especies de este helecho para investigaciones de fertilización orgánica. Investigaciones a este fin desarrolladas por Montaña (2010) en Ecuador utilizando la *Azolla caroliniana* como biofertilizante en el cultivo de arroz, permitieron observar abaratamiento de costo en la producción de arroz, sobre todo en fertilizantes, además de mantener la calidad de los suelos, reduciendo el riesgo de acidificación de los mismos, manteniendo y en algunos casos aumentando la productividad de las parcelas de arroz trabajadas pasando de 4.5 ton/ha a 7 ton/ha.

Se consideran siete las variedades de *Azolla* principales a nivel mundial teniendo sus nichos bien definidos como presentó Moore (1969):

- *Azolla caroliniana* (América del Norte y el Caribe)
- *Azolla filiculoides* (Sur América y Oeste Mediterráneo),

- *Azolla microphylla*, (América tropical y subtropical)
- *Azolla mexicana*, (norte de Sur América y oeste de Norte América)
- *Azolla pinnata*, (Asia y África)
- *Azolla nilotica*.(África)
- *Azolla japonica* (Japón).

En la actualidad, las divisiones geográficas entre las especies han desaparecido por la introducción de las especies en ambientes diversos. Es así que *A. caroliniana* ya es conocida como endémica en regiones de Ecuador en donde ya se utiliza como fertilizante en el cultivo de arroz en inundación y como fuente de fertilización nitrogenada para otros cultivos por medio de aplicaciones al suelo cerca de los cultivos y en sustratos de trasplante en viveros.

Para su correcto desarrollo, Coronel, (2011), establece que la simbiosis *Azolla-Anabaena* requiere ciertas condiciones básicas:

- Temperatura: debe oscilar entre 20 y 28 °C. Especies tropicales resisten entre 30 y 35°C.
- pH: entre 6 y 7 son los recomendados.
- Agua: esencial para su desarrollo. Por lo menos debe tener una profundidad de 2.5 cms, y algo de nutrición adicional, sobre todo de fosforo para el desarrollo de la planta.
- Luz: en condiciones sombreadas, la Azolla se desarrolla adecuadamente.
- Viento: si arrastra la Azolla a la orilla, ésta puede acumularse y retrasar el desarrollo de la misma.



Figura 3. *Azolla pinnata* que se utilizó en el experimento. Fuente: Autora. 2017.

Un estudio realizado por Castro, Novo y Castro (2002), indica que la relación arroz-*Azolla sp.*, muestra que además de bajar los costos de producción, reduce la temperatura del espejo de agua de la parcela y reduce la incidencia de malezas dentro de las parcelas, evitando el uso de herbicidas.

Coronel (2011), indica en su investigación que la presencia de hierro en el sustrato de crecimiento del complejo *Azolla-Anabaena*, incide en el crecimiento de los especímenes y analiza la posibilidad de que esta sea usada para controlar elementos contaminantes del suelo. También indica que el peso total del grano de arroz fue mayor en la parcela fertilizada con *Azolla* que con Urea; pero el crecimiento de la planta fue mayor con Urea, determinando que la fertilización nitrogenada con Urea en lugar de ir a la semilla, va a la planta y coincide con Novo y Castro (2002), en la disminución de la temperatura en el espejo de agua.

La aplicación de la planta como fertilizante orgánico seco en potes infestados de nematodos de suelo, desarrolla una eficiente reducción de los mismos después de aplicaciones consecutivas según la investigación desarrollada por Castro y colaboradores (2009). En la misma, se indica que la aplicación de *Azolla*, no solo funciona como fertilizante, sino que, al incorporarse fresca al sustrato, la descomposición acelerada de la misma genera diferentes productos naturales que inciden en la actividad de los nematodos presentes en el suelo.

La simbiosis *Azolla-anabaena*, presenta una tasa de crecimiento exponencial. En condiciones ambientales favorables se ha determinado que duplica su biomasa de 3 a 5 días; mientras que en ambientes de laboratorio se requieren de 5 a 10 días para esta duplicación en investigaciones desarrolladas por Lumpkin y Plucknett (1980). Los mismos autores presentan la generación de compuestos antoceánicos que se hacen presente ante una alta intensidad lumínica.

Además de su poder de fijación del Nitrógeno atmosférico, *Azolla sp.* es estudiada como fitoremediador de aguas contaminadas. Perniá, y otros (2016), determinan que en parcelas de arroz que registren niveles altos de cadmio, se utilice *Azolla* en asociación con *Limnocharis flava* para la absorción de este elemento y evitar bloqueo de nutrientes para el cultivo de arroz. De igual manera considera Valderrama (2012), la utilización de *Azolla filiculoides* en un ensayo para medir la fitoextracción de metales (cadmio y cobre).

Chaux (2011) establece que la siembra de *Azolla pinnata* en lagunas para remoción de nutrientes en aguas residuales de cultivo de tilapia roja, sobre todo el fósforo, principal

responsable de la eutrofización de las aguas de estanques. El tratamiento de las aguas con *Azolla*, permite su vertimiento directo a cuerpos receptores de aguas corrientes.

2.3 *Azolla* en Panamá.

La variedad utilizada en este ensayo, *Azolla pinnata*, fue introducida al país por un colaborador de JICA (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional), como parte de un programa de mejoramiento de la calidad de la alimentación de campesinos de regiones apartadas del país por medio de la introducción de proteína de bajo impacto de producción, con la instalación de estanques de cría de peces en especial Tilapia y Carpa; al igual que aves acuáticas en este caso el pato. La institución trabajó en dos frentes, a nivel académico (INA) y a nivel local con productores en áreas degradadas y de difícil acceso (Las Playitas, Las Minas). La producción en Las Playitas sigue trabajando con los estanques de peces y patos. Pero *Azolla pinnata* ha sido utilizada para otros fines por personas que han visitado la comunidad y se interesaron por el potencial de proteína que se genera en este cultivo. Sobre todo, ha sido utilizada por productores de ovejas y cabras para suplir de proteína la alimentación de pastos de sus animales, según explica Castillero (2017).



**Figura 4. Laguna de *Azolla pinnata* de donde se extrajo el material para el ensayo.
Fuente, Autora 2017.**

En menor proporción se ha utilizado como complemento en la alimentación de cerdos y aves de corral; pero en ninguno de los casos presentados se han realizado ensayos científicos en Panamá hasta el momento. Sí se conoce de otros países como Cuba, México y Colombia donde este helecho acuático, en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, es analizado en ensayos para determinar su eficiencia para alimentación de diferentes especies de interés humano; como biorremediador de aguas contaminadas y como fertilizante de cultivos; siendo el más conocido, el de su aplicación como fertilizante en el cultivo de arroz.

2.4 *Azolla Anabaena* como fertilizante

Desde hace milenios en países del Lejano Oriente como China, Vietnam y Tailandia, los campesinos cultivan arroz en terrazas inundables en las que luego de trasplantar el arroz “siembran” *Azolla sp.*, un helecho acuático de hojas alternas y raíces simples que cuelgan en el agua, que tiene una simbiosis con cianobacterias fijadoras de N atmosférico, del

género *Anabaena* fijadas permanentemente en las hojas de la planta, y que se reportan tiene la capacidad de fijar 500- 600 kg/ha de N anualmente en investigaciones realizadas por Montaña (2005).

Coronel, (2011), indica que la relación simbiótica *Azolla-anabaena* fija el nitrógeno atmosférico por medio de un proceso anaeróbico. Las cianobacterias pueden fijar el nitrógeno atmosférico por medio de heterocistos, estructuras especializadas que registran un proceso anaeróbico dentro de la fronda de Azolla. En el caso de que la especie no posea heterocistos, el proceso de fijación requiere condiciones anaeróbicas, que se presentan en los cultivos de arroz inundados. Concluye el autor que, mientras las condiciones de inundación se mantengan, la Azolla crecerá, fijando el N en su estructura, que será liberado cuando la planta se seque, siendo disponible para su asimilación por las plantas.



Figura 5. Cianobacteria *Anabaena azollae*. Se observa la morfología filamentosa típica y dos heterocistos (fuente. Jhon Walsh. Science Photo Library).

En este punto resalta Montaña (2010) que, en el proceso de fijación de nitrógeno, la simbiosis Anabaena-azolla fija el nitrógeno atmosférico en forma de amonio, nitrito y nitrato, siendo los tres asimilables por los cultivos para su fertilización nitrogenada. Ya para esta publicación en estudios realizados en condiciones óptimas de laboratorio, estimaba la fijación de Nitrógeno en un promedio de 1200 kg de N por hectárea al año. Pero para que estas condiciones se den, la *Azolla sp.* debe cosecharse al cerrar el espejo de agua donde se ha sembrado, secarse, molerse y empacarse para su uso posterior en el terreno de cultivo.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El ensayo se desarrolló en la finca GECHA (Granja Escuela Casiciaco Haren Alde), ubicada en la comunidad de Las Minas, distrito de Las Minas, provincia de Herrera, propiedad de la Universidad Santa María la Antigua, en el periodo comprendido entre septiembre 2016 a febrero 2017; desarrollándolo en la parcela N° 4, con una extensión aproximada de 6000 m², dedicada anteriormente al cultivo de maíz y yuca.

La finca se encuentra ubicada a una altura de 400 msnm. Geográficamente está ubicada 7° 47' 59" N y 80° 45' 18" O. Posee una extensión de 20 hectáreas donde se trabajan diferentes cultivos en sus parcelas: pasturas para especies mayores y menores, cultivos anuales (maíz, hortalizas) permanentes (frutales, café, cacao, bosques). Posee además, hato de ovejas, cerdos y cría de aves de corral.

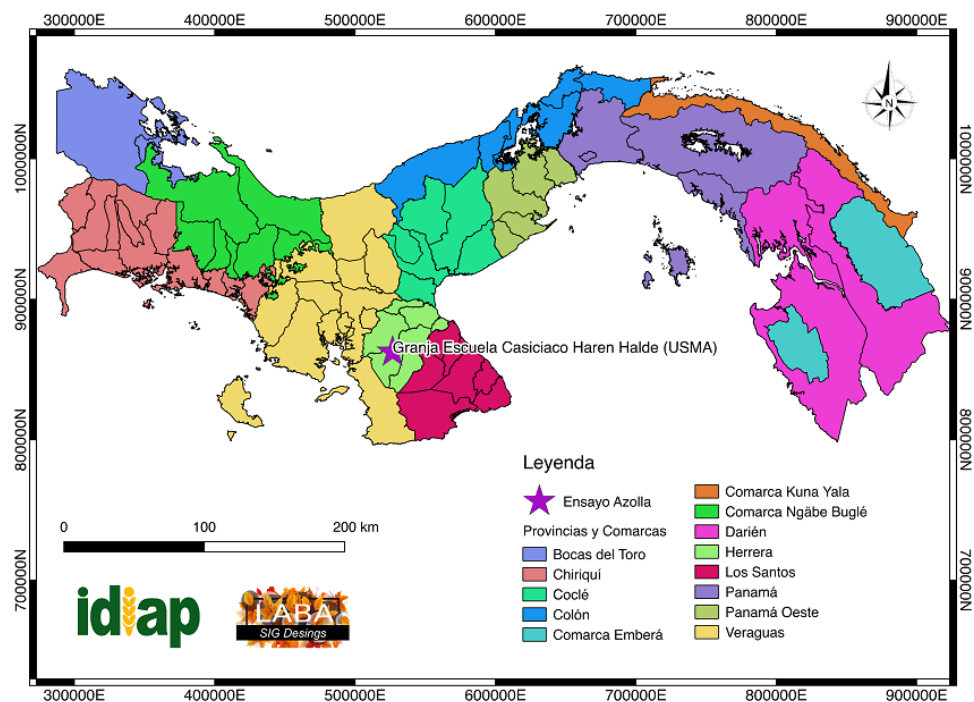


Figura 2. Ubicación nacional de GECHA. Fuente Luis A. Barahona A. 2019

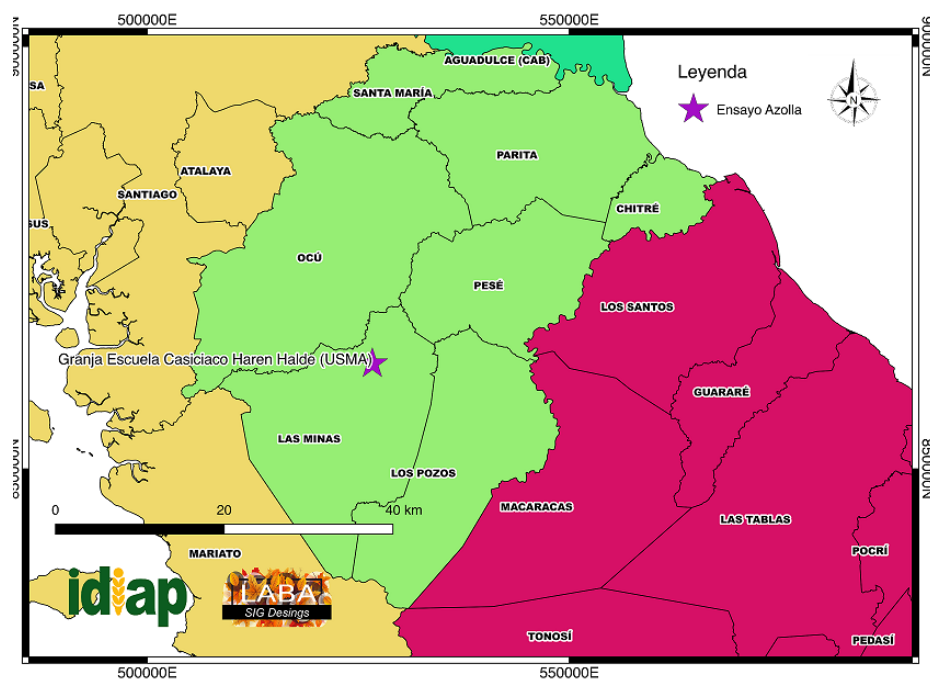


Figura 3. Ubicación Regional de GECHA. Fuente, Luis A. Barahona. A. 2019



Figura 4. Granja Escuela Casiciaco Haren Alde, Las Minas. Parcela de ensayo.
Fuente: Google maps. 2017

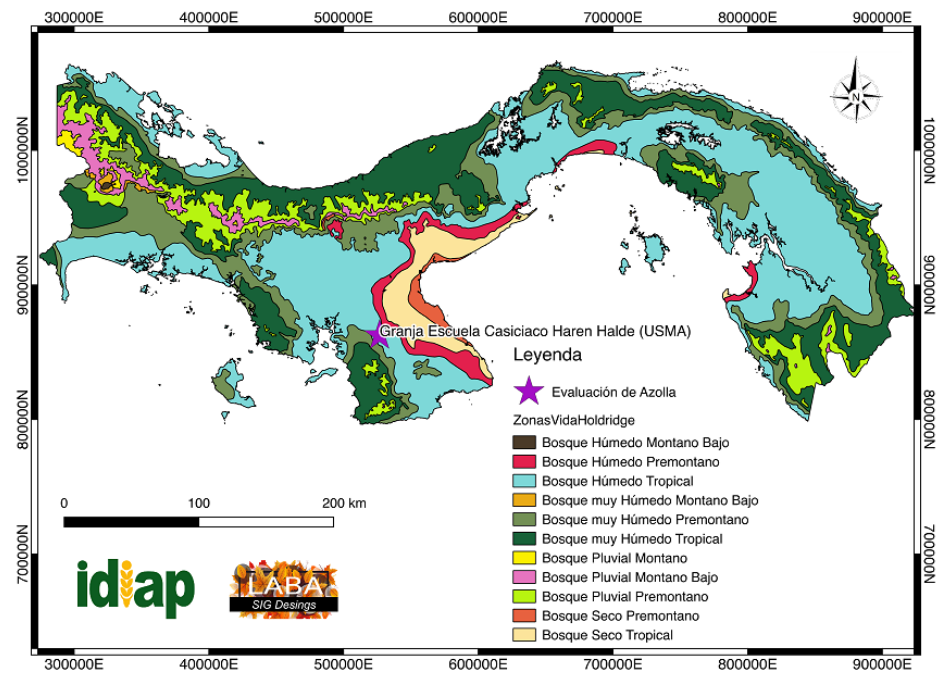


Figura 5. Mapa de zonas de vida Holdridge. Muestra zona de vida en el área del ensayo. Fuente, Luis A. Barahona. A. 2019

Según el mapa de zonas de vida de Holdridge, GECHA se encuentra enclavada en el Bosque Húmedo Tropical, con precipitaciones anuales por encima de los 1500 mm/año, encontrándose los mayores aportes en los meses de agosto a noviembre.

3.2 Diseño del ensayo

El ensayo consistió en la siembra de arroz de subsistencia de la variedad Picaporte. Las características analizadas se presentan en la Tabla No. 2. Se trabajaron seis tratamientos de fertilización nitrogenada, en un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBA).

3.3 Características de la variedad utilizada.

Se utilizó la variedad Picaporte de arroz de subsistencia. Los datos básicos de la variedad estudiados en el ensayo se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 2. Características agronómicas y potencial de rendimiento de arroz variedad Picaporte.

Característica	Media
Altura de planta	138 cms
Rendimiento por hectárea	4 toneladas (80 qq)

Fuente: Guía Técnica de Producción de Semilla de Arroz de Buena Calidad. Quiroz. 2015

3.4 Metodología

Los análisis químicos; tanto del suelo del ensayo como de la muestra de *Azolla pinnata*, se realizaron siguiendo los parámetros establecidos en el laboratorio de suelos de IDIAP, localizado en Divisa. Los datos están presentados en las Tablas N° 1 y 3. La interpretación de resultados en las Tablas N° 2 y 4.

Las variables de cultivo se tomaron como sigue:

- A los 55 días de siembra se toman 20 golpes de plantas al azar dentro de la parcela efectiva por tratamiento de cada bloque. En la misma se miden: **altura de las plantas** y número de **hijos por golpe**. Con los datos recolectados se obtiene la media para cada tratamiento y se analizan estadísticamente. Estas variables se realizaron antes de la aplicación de los tratamientos del ensayo.
- Se cortaron a ras de suelo las plantas en un área de 0.50 m², cuando la espiga estaba cayendo y se determinó el peso fresco de cada muestra por tratamiento. Después se secaron al horno y se obtuvo el peso seco. Ambos datos se extrapolaron a una hectárea de cultivo, obteniendo la **biomasa** total de cada tratamiento. Se molieron muestras individuales de cada tratamiento. La muestra molida se trabajó en el laboratorio obteniendo el **porcentaje de Nitrógeno en planta completa** en cada tratamiento, aplicando el método Kjeldahl.
- Se cosechó la parcela efectiva para cada tratamiento, obteniéndose el rendimiento de kilogramos de arroz al **14%de humedad**. De cada tratamiento cosechado se obtuvo una muestra de grano limpio y seco que se utilizó para

obtener el **rendimiento en molino** y el **porcentaje de granos enteros** por muestra.

En todos los casos, los tratamientos iguales se analizaron individualmente y se generó la tabla de resultados para generar el análisis estadístico que se utilizaron para definir si la hipótesis establecida era aceptada o rechazada.

3.5 Diseño de bloques y unidades experimentales

El diseño fue de tres bloques con seis unidades experimentales de 2 metros de ancho por 5 metros de largo (10 metros cuadrados). Cada bloque se separó con una distancia de un metro entre cada bloque. El total del área de cada bloque fue de 75 metros cuadrados, con una separación de un metro entre las unidades experimentales. El total del área experimental utilizada fue de 510 metros cuadrados.

Se trabajaron dos fechas de siembra: 25 y 26 de septiembre; 9 y 10 de octubre, correspondiendo a tres bloques para cada fecha. Se aplicaron seis tratamientos por bloque por fecha de siembra.

3.6. Metodología de siembra de arroz.

Cada unidad experimental se sembró a chuzo a una distancia de 30 cms entre surcos y 15 cms entre plantas. En cada golpe se colocaron 8 semillas de arroz. A las dos semanas, ya germinado el arroz, se ahoyó al lado de cada golpe y se aplicó el abono completo 12-

24-12 a razón de 28 gramos por golpe de plantas; que es la metodología que utilizan los productores de subsistencia del área.

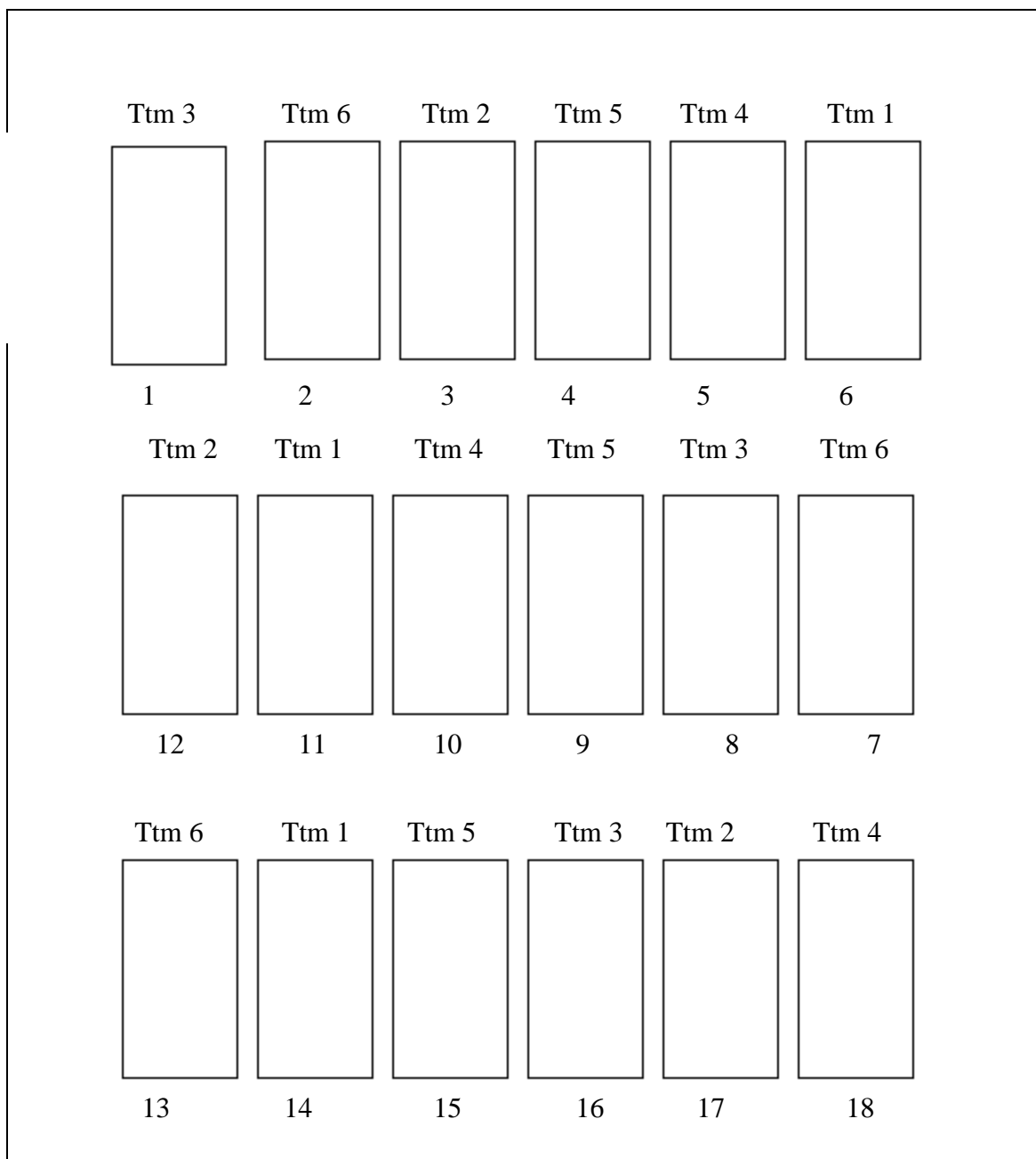


Figura 6. Distribución de los tratamientos sembrados el 25 y 26 septiembre de 2017

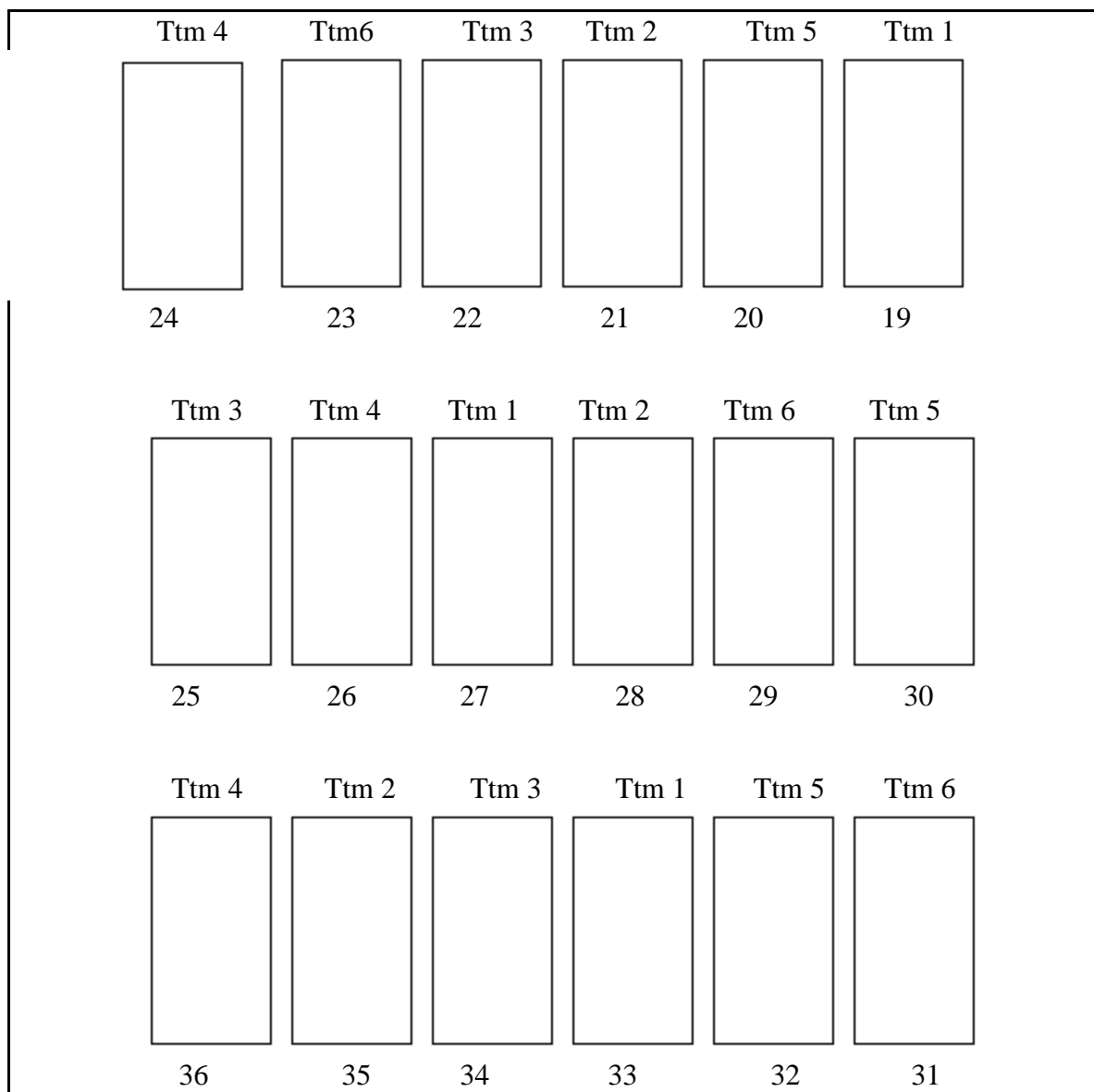


Figura 7. Distribución de los tratamientos sembrados el 9 y 10 de octubre de 2017

3.7. Metodología de los tratamientos de *Azolla pinnata*.

La *Azolla pinnata* utilizada en este ensayo, provino de una laguna natural, ubicada en la comunidad de Las Cabras, Pesé. Se hizo la recolección en un solo momento para tener

la misma madurez en la *Azolla sp.*. Se mantuvo aireándose, en malla bajo techo por 2 semanas, para eliminar la mayor cantidad de humedad posible. Luego se dejó dos días al sol y se molió en un triturador mecánico para mejorar la desintegración de la planta en el suelo y su asimilación por las plantas.



Figura 8. *Azolla pinnata* lista para cosecha. Fuente: Autora. 2017



Figura 9. Molido de la *Azolla pinnata* Fuente Autora 2017

Antes de la siembra se realizó un muestreo a la parcela para obtener el análisis del suelo. Los análisis se hicieron en el laboratorio de Suelos de IDIAP en Divisa, aplicando los métodos de análisis descritos por Villarreal y Name (1996). Los datos obtenidos se presentan en la Tabla No. 3. La interpretación de los resultados en la Tabla No. 4

Tabla 3. Resultado de análisis de muestra de suelo de la parcela 4 de GECHA

Textura	Color	pH	P	K	Ca	Mg	MO	Mn	Fe	Zn	Cu
A-L-Ar			mg/l	Meq/ 100 g suelo			%	mg/l			
68-14-18 FRA- ARE	Pardo Amarillento	4.7	7	56.7	3	0.7	3.78	144.9	12.43	4.27	4.77

Fuente: Análisis de Laboratorio de Suelos, IDIAP, Divisa. 2017

Tabla 4. Interpretación de análisis de muestra de suelo de parcela 4 de GECHA

Elemento/ característica	Interpretación
Textura	Franco arenoso
Color	Pardo amarillento
Ph	Muy acido
Fósforo	Bajo
Potasio	Medio
Calcio	Medio
Magnesio	Medio
Materia orgánica	Medio
Manganeso	Alto
Hierro	Bajo
Zinc	Medio
Cobre	Medio

Fuente: Autora 2018.

El análisis del suelo muestra que el pH es muy ácido y el porcentaje de Materia Orgánica, aunque está dentro del rango medio, no aporta más del 0.55 % de Nitrógeno orgánico, por lo que para el cultivo, este elemento fue suplido por la fertilización química, con *Azolla sp.*, o con la mezcla de ambas que se determinó para cada uno de los tratamientos aplicados en este ensayo; todos en la Tabla N° 4.

En el caso de esta investigación, la aplicación y dosificación de fertilizante se hizo con las prácticas de fertilización que aplican los productores de subsistencia: fertilización con abono completo 12-24-12 dos semanas después de siembra y la aplicación de tratamientos a 75 días de siembra en el primer bloque. En el segundo bloque la aplicación de los tratamientos se hizo a los 60 días de siembra.

A la *Azolla pinnata* también se le realizó su análisis bromatológico, presentando los resultados obtenidos en la Tabla No. 5 y la interpretación de los mismos en la Tabla No. 6.

Tabla 5. Resultado de análisis de tejido foliar muestra de *Azolla pinnata*

N	Ph	P	K	Ca	Mg	M.O.	Mn	Fe	Zn	Cu	C
%		mg/l	Meq/100 g suelo			%	mg/l				%
2.84	6.3	0.71	3.07	0.85	0.68	24.1	900	Tr	Tr	69	13.97

Fuente: Análisis de Laboratorio de Suelos, IDIAP, Divisa. 2017

Tabla 6. Interpretación de análisis bromatológico muestra de *Azolla pinnata*

Elemento/ característica	Interpretación
Nitrógeno	Dentro del rango esperado
pH	Poco ácido
Fósforo	Bajo
Potasio	Bajo
Calcio	Bajo
Magnesio	Medio
Materia orgánica	Alto
Manganeso	Alto
Hierro	Trazas
Zinc	Trazas
Cobre	Alto

Fuente: Autora, 2018

Los datos presentados en el análisis bromatológico de la muestra de *Azolla pinnata* utilizada en este ensayo, indican que el producto final que sería aplicado como fertilizante, propone un porcentaje de materia orgánica muy importante, así como macro y micro elementos en proporciones interesantes y un porcentaje de nitrógeno dentro del promedio que se espera de la *Azolla sp.* Según una conversación vía correo mantenida con el doctor Mariano Montaña (2018), el porcentaje de Nitrógeno varía de 2.5 a 4%, encontrándose variedades en Venezuela con hasta un 7% de proporción del elemento presente en la planta.

3.7 Aplicación nitrogenada por unidad experimental

Las recomendaciones de fertilización de arroz según Villarreal y colaboradores (2006) indican que este cultivo requiere 100 kilos de nitrógeno en todo su ciclo vegetativo.

La aplicación por parte de los productores, es escalonada en dos fechas. La primera, dos semanas después de la siembra, aplicando 12-24-12 a razón de 36.36 kilos por hectárea.

La Urea se aplicó al final del cultivo, antes de la formación de la espiga; aproximadamente a los 75 días de siembra para la variedad utilizada. Según las recomendaciones de IDIAP se aplica 181,8 kilos de Urea (42%) por hectárea.

Al hacer la relación de fertilizante nitrogenado requerido, según el tamaño de la unidad experimental (10 m²), en el caso del requerimiento del tratamiento 2 (100% Urea) el cálculo se establece como sigue:

$$\begin{array}{rcl} 10,000 \text{ m}^2 & = & 181.8 \text{ kg de Urea} \\ 10 \text{ m}^2 & = & X \end{array}$$

$$X = \frac{10 \text{ m}^2 \times 181.8 \text{ kg de Urea}}{10,000 \text{ m}^2}$$

$$X = 0.182 \text{ kg}$$

$$X = \mathbf{182 \text{ g}} \text{ (por parcela efectiva) Tratamiento 2}$$

10,000 m²: una hectárea

10 m²: unidad experimental

181.8 kilos = cantidad de fertilizante nitrogenado en una hectárea

3.8. Cálculo de peso de los tratamientos de aplicación nitrogenada del ensayo.

El fertilizante nitrogenado utilizado fue Urea al 42% de nitrógeno, que tiene un aporte de 18.43 kg nitrógeno por cada 45 kilos.

De acuerdo al análisis de tejido foliar de *Azolla pinnata* utilizada, según la Tabla N° 5, su concentración de nitrógeno es de 2.84 por ciento; tiene un aporte de 1.28 kg por cada 45 kilos. Esto implica que el volumen a utilizar en cada parcela será mayor al de la urea.

Proporción de *Azolla sp.* en tratamiento al 100 %

$$\begin{aligned} 100 \text{ g} &= 42 \text{ g N} \\ 182 \text{ g} &= X \\ X &= \frac{(182 \text{ g})(42 \text{ g})}{100 \text{ g}} \\ X &= 76.4 \text{ g N} \end{aligned}$$

Para obtener la proporción de *Azolla sp.* requerida en el tratamiento al 100% se utilizó esta fórmula

$$\begin{aligned} 100 \text{ g } Azolla \text{ sp.} &= 2.84 \text{ g N} \\ X &= 76.4 \text{ g N} \\ X &= \frac{(100 \text{ g } Azolla \text{ sp.})(76.4 \text{ g N})}{2.84 \text{ g N}} \end{aligned}$$

$$X = 2690 \text{ g } Azolla \text{ sp.} = 2.7 \text{ kilogramos}$$

Al obtener el peso final de los tratamientos al 100 por ciento de cada una de las fuentes, para obtener las demás proporciones solo se divide el total entre las cantidades a aplicar entre 4, para obtener las proporciones requeridas de cada uno de los materiales a utilizar en los tratamientos.

La relación de acuerdo a los tratamientos y el porcentaje de Nitrógeno que cada una de las fuentes ofrecía al tratamiento deja una relación establecida como sigue.

Tabla 7. Determinación de peso de los constituyentes nitrogenados de los diferentes tratamientos aplicados

Tratamiento	Porcentaje	<i>Azolla sp.</i>	Urea
1	0-0	0.00	0.00
2	0-100	0	182 gramos
3	25-75	0.675 kg	136.5 gramos
4	50-50	1.35 kg	91 gramos
5	75-25	2.025 kg	45.5 gramos
6	100-0	2.7 kg	0

Fuente: Autora 2018

Luego de la conversión de cada uno de las fuentes de fertilidad, cada tratamiento se mezcló uniformemente antes de su aplicación en cada parcela.

A las parcelas que llevaron fertilización completa o compartida de *Azolla pinnata* se hizo un surco al lado de las plantas y se tapó para mejorar la asimilación de esta fuente de nitrógeno ofrecida al cultivo de arroz.

La Urea se pesó en balanza digital obteniendo los pesos determinados en la tabla No. 7. La *Azolla pinnata* se pesó en balanza de reloj, de acuerdo a los pesos establecidos también en la tabla No. 7.

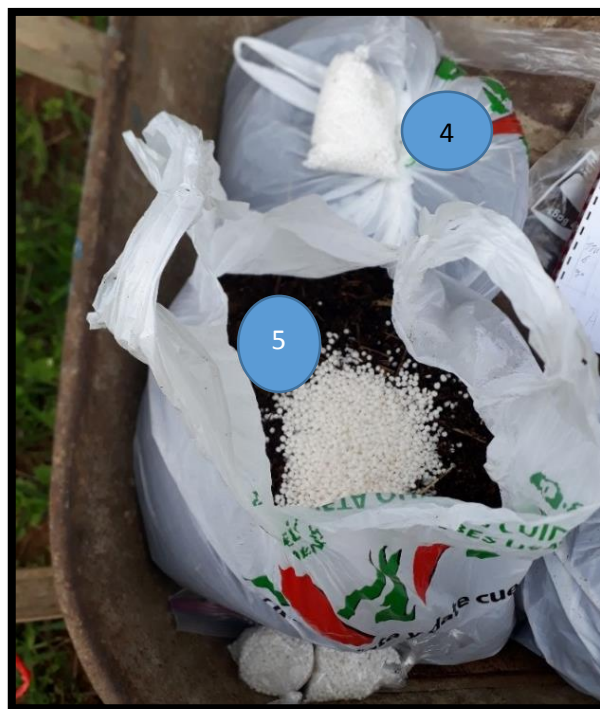


Figura 10. Mezcla de urea y *Azolla pinnata* antes de la aplicación a parcelas. Se observan tratamientos 4 (arriba) y 5 (abajo) antes de mezclado. Fuente: Autora 2018

Cada tratamiento se ubicó en los bloques al azar y se marcó con una cinta de color diferente.

Al 15 de diciembre de 2017, las parcelas de arroz estaban en crecimiento y reaccionando a las aplicaciones de cada uno de los tratamientos preparados.



Figura 11. Parcela de arroz ya fertilizada. Fuente: Autora 2017.



Figura 12. Golpe de siembra mostrando ahije. Fuente: Autora. 2017.

Tabla 8. Precipitación durante el tiempo del ensayo

Mes	Precipitación mm
Septiembre	340.8
Octubre	502
Noviembre	500
Diciembre	205
Enero	165
Total	1712.8

Fuente: ETESA, 2017.

Se observa en la Tabla N° 8, las precipitaciones ocurridas durante el periodo del ensayo, en el que las lluvias estuvieron por encima de los requerimientos mínimos del cultivo, establecidos en 200 – 300 mililitros por mes. Benaccio y Ávila (1991) indican que el período más crítico para el cultivo es 10 días antes de la floración. La falta de agua en este período, es causa de esterilidad de flores; resultando en bajos rendimientos en la cosecha.

3.9 Parámetros a evaluar:

- Análisis físico-químico del suelo.
- Análisis bromatológico de *Azolla*
- Variables de cultivo:
 - Altura de planta
 - Número de hijos por golpe
 - Porcentaje de nitrógeno en la planta (planta completa)
 - Biomasa total de cultivo.
- Calidad molinera
 - Porcentaje total

- Porcentaje de granos enteros
- Rendimiento de grano limpio y seco al 14% de humedad (kg/ha).

3.10 Análisis estadístico.

Para determinar si existe diferencia en la eficiencia de los tratamientos, salvo los análisis de la muestra del suelo del ensayo y del de *Azolla pinnata*, se realizó una estadística descriptiva a los parámetros a evaluar, análisis de varianza y comparación de medias utilizando Diferencia Mínima Significativa.

Para probar la hipótesis de medias iguales, en el análisis de varianza se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + F_k + TF_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

en donde:

Y_{ijk} = valor del carácter estudiado

μ = media general

β_i = efecto del bloque (i=3)

T_j = efecto del tratamiento (j=6)

F_k = efecto de fecha (k=2)

TF_{jk} = efecto de interacción de tratamiento-fecha

ε_{ijk} = error experimental

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 9. ANOVA de Altura de planta

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1084.08	15	72.27	6.06	0.0001
Tratamiento	317.58	5	63.52	5.32	0.0029**
Fecha>Rep	458.67	4	114.67	9.61	0.0002**
Fecha	30.25	1	30.25	2.53	0.1270
Tratamiento*Fecha	277.58	5	55.52	4.65	0.0056
Error	238.67	20	11.93		
Total	1322.75	35			

CV% 2.57 r^2 0.82 ** diferencia altamente significativa al 5% de probabilidad.

Fuente: Autora 2019.

La Tabla 9 presenta la ANOVA, donde se observa diferencia altamente significativa al 5% de probabilidad entre los tratamientos aplicados y en las repeticiones de tratamientos por fecha. Entre los tratamientos por fecha no hubo diferencia significativa. Tampoco en las fechas de siembra establecidas en el ensayo. El coeficiente de variación fue bajo y el r^2 alto, indicando que el 82 por ciento de las variables de respuesta, responden al modelo estadístico utilizado.

Tabla 10. Comparación de media de altura de plantas por tratamiento

Tratamiento	Porcentajes	Medias		
2	100% Urea	140	A	
5	25% Urea-75% Azolla	135.17	B	
3	75% Urea-25% Azolla	134.17	B	C
6	100% Azolla	133.67	B	C
1	Testigo	131.83	B	C
4	50% Urea-50% Azolla	130.67		C

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora 2018.

Coincidiendo con lo indicado en la Tabla No 9 del cuadro de ANOVA, el tratamiento 100 % Urea, obtuvo la media de mayor altura de plantas, seguido de los tratamientos 25% Urea- 75% *Azolla*; 75% Urea- 25% *Azolla*; 100% *Azolla*, 0% Urea- 0% *Azolla*, siendo el tratamiento 50% Urea-50% *Azolla* el de menor altura. Estadísticamente, se observa diferenciación en tres grupos de tratamientos. Según la Tabla No. 2, el tratamiento 100 % urea, sobrepasó la media de altura de planta registrada para la variedad de arroz Picaporte. Diferentes investigaciones en el tema, se consideran que, entre mayor altura de planta, mayor riesgo de caída o acame cuando el grano de arroz ya esté maduro debido a los vientos característicos en la época de cosecha de este grano. Durante este ensayo no se observó incidencia de acame en las parcelas, debido a la presencia de barreras rompevientos en el lado norte de la parcela.

Tabla 11. Comparación altura media de plantas por tratamiento y fecha de siembra

Tratamiento	Porcentaje	Fecha	Medias	
2	100% Urea	octubre	146.67	A
5	25% Urea-75% Azolla	septiembre	136	B
6	100% Azolla	octubre	135.33	B
3	75% Urea-25% Azolla	octubre	134.67	B C
5	25% Urea-75% Azolla	octubre	134.33	B C
3	75% Urea-25% Azolla	septiembre	133.67	B C
2	100% Urea	septiembre	133.33	B C
1	testigo	septiembre	133	B C
6	100% Azolla	septiembre	132	B C
4	50% Urea-50% Azolla	septiembre	132	B C
1	testigo	octubre	130.67	B C
4	50% Urea-50% Azolla	octubre	129.33	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente; Autora, 2018

Los mejores resultados observados en la Tabla No 11 se ven en el tratamiento de 100% Urea en el mes de octubre, que mostró diferencia significativa con el resto de los tratamientos. Entre el resto de los tratamientos no se observa diferencia significativa entre ellos, salvo el tratamiento 50% Urea- 50% *Azolla* del mes de octubre, que presentó la media más baja de todos. La altura media de la variedad utilizada es de 138 cms. Esto implica que el tratamiento 100 % Urea de la segunda fecha de siembra fue el único que sobrepasó la media de la variedad según la Tabla No. 2.

Tabla 12. ANOVA Ahije por golpe.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	150.33	15	10.02	3.74	0.0034
Tratamiento	21.22	5	4.24	1.59	0.2098
Fecha>Rep	35.78	4	8.94	3.34	0.0300*
Fecha	58.78	1	58.78	21.95	0.0001**
Tratamiento*Fecha	34.56	5	6.91	2.58	0.0587
Error	53.56	20	2.68		
Total	203.89	35			

CV%: 11.64 r^2 0.74 * diferencia significativa al 5 % de probabilidad ** diferencia altamente significativa.

Fuente: Autora 2019

En la Tabla No 12, se observa la ANOVA de la variable Ahije por golpe, en la que hubo diferencia altamente significativa en las fechas de siembra y significativas en las repeticiones de los tratamientos por fecha de siembra.

Tabla 13. Comparación de medias ahije por golpe. (8 semillas por golpe)

Tratamiento	Medias		
100% Urea	15.17	A	
75% Urea-25% Azolla	14.67	A	B
100% Azolla	14.50	A	B
50% Urea-50% Azolla	13.50	A	B
25% Urea-75% Azolla	13.50	A	B
Testigo	13.00		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora, 2018

Se observa en la Tabla No. 13, que el tratamiento 100 % Urea, obtuvo la media más alta de hijos por golpe, mientras que el tratamiento testigo es el de menor cantidad de hijos.

Se observan dos grupos estadísticamente diferentes entre ellos.

El análisis de esta variable establece que, existen mayores posibilidades de producción de espigas a mayor cantidad de hijos por golpe de siembra, lo que indica que se espera mayor rendimiento por hectárea.

Tabla 14. Comparación de medias. Ahije por tratamiento y fecha de siembra

Tratamiento	Porcentaje	Fecha	Medias			
2	100% Urea	octubre	17.33	A		
3	75% Urea-25% Azolla	octubre	17	A		
6	100% Azolla	octubre	16.67	A	B	
4	50% Urea-50% Azolla	octubre	14		B	C
1	Testigo	octubre	13.67			C
5	25% Urea-75% Azolla	septiembre	13.67			C
5	25% Urea-75% Azolla	octubre	13.33			C
2	100% Urea	septiembre	13			C
4	50% Urea-50% Azolla	septiembre	13			C
1	Testigo	septiembre	12.33			C
6	100% Azolla	septiembre	12.33			C
3	75% Urea-25% Azolla	septiembre	12.33			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)
Fuente: Autora 2018.

En la Tabla N° 14, se observa que la mayoría de los tratamientos del mes de octubre presentaron una media de ahíje mayor que los del mes de septiembre. Los tres primeros muestran diferencia significativa del resto de los tratamientos. Este análisis nos lleva a esperar que el rendimiento de estos tratamientos sea mayor que los demás.

Tabla 15. Cuadro ANOVA, Materia seca total.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2472.95	15	164.86	2.07	0.0646
Tratamiento	710.86	5	142.17	1.78	0.1618 ns
Fecha>Rep	1091.83	4	272.96	3.43	0.0274*
Fecha	15.21	1	15.21	0.19	0.6668 ns
Tratamiento*Fecha	655.04	5	131.01	1.64	0.1941 ns
Error	1593.12	20	79.66		
Total	4066.07	35			

CV 20.98 % r^2 0.61 * diferencia significativa ns No hay diferencia

Fuente: Autora 2019.

La Tabla No 15 presenta que no hubo diferencias significativas entre las variables medidas, salvo en las repeticiones por fecha de cada tratamiento en la que se observa diferencia entre ellos.

Tabla 16. Comparación de medias. Materia seca total por tratamiento

Tratamiento	Porcentaje	Medias		
5	25% Urea-75% Azolla	50.17	A	
3	75% Urea-25% Azolla	45.58	A	B
6	100% Azolla	42.75	A	B
4	50% Urea-50% Azolla	40.75	A	B
2	100% Urea	39.9	A	B
1	testigo	36.15		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora, 2018.

Se observa que el tratamiento 25% Urea- 75% **Azolla sp.** obtuvo la media más alta de biomasa por tratamiento, seguido del tratamiento 75 % Urea- 25 % **Azolla sp.** y el 100 % **Azolla sp.**. El tratamiento testigo presenta la media más baja de todos. Estadísticamente,

se observa que el tratamiento 25 % Urea- 75 % **Azolla sp.** presenta diferencias solo con el testigo. Entre el resto de los tratamientos, se les considera iguales estadísticamente.

En esta variable se observa la proporción total de biomasa producida por la unidad experimental. Es de esperar que a mayor biomasa el rendimiento sea mayor.

Tabla 17. ANOVA Rendimiento de cosecha (toneladas)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		11.44	15	0.76	4.63 0.0009
Tratamiento		4.73	5	0.95	5.74 0.0019**
Fecha>Rep		6.10	4	1.53	9.26 0.0002**
Fecha		0.38	1	0.38	2.31 0.1444 ns
Tratamiento*Fecha		0.22	5	0.04	0.27 0.9227 ns
Error		3.30	20	0.16	
Total		14.74	35		

CV 10.6 % r^2 0.78 ** diferencia altamente significativa al 5% de probabilidad. ns no hay diferencia significativa.

Fuente Autora, 2018-

La Tabla No. 17 presenta que hubo diferencias significativas entre los tratamientos analizados y en las repeticiones de cada uno de ellos por fecha de siembra. Tomando en cuenta que el rendimiento de la cosecha en grano limpio y seco al 14 % de humedad, es el más importante para el productor, éste dato es de vital importancia para el seguimiento de la propuesta de éste ensayo.

Tabla 18. Comparación de medias. Rendimiento de cosecha (toneladas)

Tratamiento	Porcentaje	Medias	
5	25% Urea-75% Azolla	4.22	A
6	100% Azolla	4.02	A
2	100% Urea	3.97	A
3	75% Urea-25% Azolla	3.88	A
4	50% Urea-50% Azolla	3.83	A
1	Testigo	3.07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) Fuente: Autora 2018.

En la Tabla N° 18 se observa que el tratamiento 25 % Urea- 75 % **Azolla sp.** obtuvo la mayor media de rendimiento, siendo el tratamiento testigo el de menor rendimiento. Este último tratamiento fue el único que presentó diferencias estadísticas con el resto. Según la Tabla N° 2, el promedio de cosecha de la variedad es de 4 toneladas (80 quintales). Esto indica que los tratamientos 25% Urea- 75 % **Azolla sp** y 100 % **Azolla sp.**, pasaron de la media de rendimiento establecida para la variedad Picaporte.

Tabla 19. Comparación de medias. Rendimiento por tratamiento y fecha de siembra

Tratamiento	Porcentaje	Fecha	Medias	
5	25% Urea-75% Azolla	septiembre	4.27	A
5	25% Urea-75% Azolla	octubre	4.17	A
6	100% Azolla	septiembre	4.13	A
3	75% Urea-25% Azolla	septiembre	4.13	A
2	100% Urea	octubre	3.97	A
2	100% Urea	septiembre	3.97	A
4	50% Urea-50% Azolla	septiembre	3.9	A
6	100% Azolla	octubre	3.9	A
4	50% Urea-50% Azolla	octubre	3.77	A B
3	75% Urea-25% Azolla	octubre	3.63	A B
1	Testigo	septiembre	3.2	B C
1	Testigo	octubre	2.93	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) Fuente: Autora, 2018.

La Tabla N° 19, presenta que el tratamiento 5 de ambos meses (25% Urea 75% *Azolla pinnata*) registró la media de rendimiento más altas y junto al tratamiento 100 % *Azolla sp.* y 75 % Urea- 25% *Azolla sp.* de septiembre, la media estuvo por encima de la reportada para la variedad utilizada. Si bien no se considera significativa la diferencia entre los demás tratamientos, a excepción del tratamiento testigo de ambos meses, que sí muestra diferencias altas con el rendimiento promedio de la variedad.

La Tabla N°16 muestra la relación con estos resultados, en donde se observa la relación existente entre la proporción de biomasa total del cultivo con el rendimiento en grano limpio y seco al 14% en cuanto a que el tratamiento 25 % Urea- 75% *Azolla sp.* obtuvo las medias más altas en los resultados de ambas variables.

Tabla 20. Cuadro de ANOVA. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.28	15	0.35	6.05	0.0001
Tratamiento	3.77	5	0.75	12.95	<0.0001**
Fecha>Rep	0.19	4	0.05	0.81	0.5328 ns
Fecha	0.47	1	0.47	8.02	0.0103**
Tratamiento*Fecha	0.86	5	0.17	2.95	0.0375 ns
Error	1.16	20	0.06		
Total	6.45	35			

CV 14.85 % r^2 0.82 ** diferencia altamente significativa al 5% de probabilidad ns no hay diferencia significativa

Fuente Autora 2019.

La Tabla N° 20, presenta la ANOVA en la que se observa que hubo diferencia significativa en los tratamientos aplicados, al igual que en la fecha de siembra.

Tabla 21. Comparación de medias. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa

Tratamiento	Porcentaje	Medias	
5	25% Urea-75% Azolla	1.87	A
4	50% Urea-50% Azolla	1.8	A
2	100% Urea	1.78	A
3	75% Urea-25% Azolla	1.73	A
6	100% Azolla	1.65	A
1	<u>testigo</u>	<u>0.92</u>	<u>B</u>

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora, 2018

La Tabla N° 21 establece que en las muestras analizadas, el tratamiento 25% Urea-75% *Azolla sp.* mostró la media más alta en porcentaje de Nitrógeno, el tratamiento testigo la más baja y este a su vez, el único que presenta diferencias estadísticas con el resto de los tratamientos.

Aun así, las medias encontradas están por debajo de los parámetros mínimos requeridos por el cultivo para este elemento y obtener un rendimiento promedio. Se establece que el porcentaje mínimo del elemento en la planta debe ser de 2 por ciento. Aunque Villarreal y colaboradores (2006), lo sitúan entre el 2.5 y 2.9 por ciento. Pero como se observó en la Tabla N° 14, el rendimiento de cinco de los tratamientos fue mayor o cerca del promedio registrado para la variedad utilizada. Esto indica que el elemento se movió hacia la semilla para mantener el rendimiento a los niveles adecuados. Los resultados obtenidos por Coronel (2011) indican la eficacia de las aplicaciones de *Azolla pinnata*, al ser asimiladas más lentamente en el completo del suelo, dan oportunidad al cultivo a asimilarlo y permitir su traslocación al grano de arroz, mientras que la Urea es rápidamente asimilada por la planta y al disminuir su porcentaje en la planta no se trasloca al grano.

Tabla 22. Comparación de medias. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa por fecha de siembra

Fecha	Medias	
Septiembre	1.74	A
Octubre	1.51	B

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora 2018.

La Tabla N° 22, presenta que la media del elemento analizado en el mes de septiembre muestra diferencia significativa con la media del mes de octubre. Pero ambas están por debajo del mínimo para el cultivo reportado por Villarreal y colaboradores (2006) que lo sitúan entre 2.5 a 2.9 por ciento del elemento para cultivos en la región central del país.

Tabla 23. Comparación de medias. Porcentaje de Nitrógeno en planta completa por tratamiento y fecha de siembra

Tratamiento	Porcentaje	Fecha	Medias	
4	50% Urea-50% Azolla	septiembre	2.07	A
3	75% Urea-25% Azolla	septiembre	2.03	A
5	25% Urea-75% Azolla	septiembre	1.97	A B
2	100% Urea	septiembre	1.97	A B
5	25% Urea-75% Azolla	octubre	1.77	A B C
6	100% Azolla	octubre	1.77	A B C
2	100% Urea	octubre	1.6	B C
6	100% Azolla	septiembre	1.53	C
4	50% Urea-50% Azolla	octubre	1.53	C
3	75% Urea-25% Azolla	octubre	1.43	C
1	Testigo	octubre	0.97	D
1	Testigo	septiembre	0.87	D

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora 2018.

Los tratamientos del mes de septiembre mostrados en la Tabla N° 23, presentan generalmente medias más altas de porcentaje del elemento, que algunos autores reportan como niveles críticos un 2 %; aunque según la investigación de Villarreal y colaboradores (2006) se reportan niveles críticos de N por el orden del 2.57 al 2.9 por ciento. Tomando esta información se establece que, todos los tratamientos mostraron deficiencia en este elemento y la mayor se observa en los tratamientos testigo, a los que no se les aplicó fertilización nitrogenada.

Tabla 24. ANOVA Rendimiento total en molino (porcentaje)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62.63	15	4.18	1.28	0.3002
Tratamiento	12.65	5	2.53	0.77	0.5801
Fecha>Rep	30.85	4	7.71	2.36	0.0883 ns
Fecha	9.00	1	9.00	2.75	0.1128 ns
Tratamiento*Fecha	10.13	5	2.03	0.62	0.6866 ns
Error	65.41	20	3.27		
Total	128.05	35			

CV 2.62 % r^2 0.49 ns no hay diferencia significativa

En la tabla N° 24 la ANOVA presenta que no hay diferencia significativa en las variables estudiadas en el ensayo. Esto indica que los tratamientos no tuvieron incidencia en la calidad molinera del grano luego de la cosecha.

Tabla 25. Comparación de medias. Rendimiento total en molino (porcentaje)

Tratamiento	Porcentaje	Medias	
6	100% Azolla	69.83	A
5	25% Urea-75% Azolla	69.43	A
3	75% Urea-25% Azolla	69.32	A
2	100% Urea	68.93	A
4	50% Urea-50% Azolla	68.75	A
1	Testigo	67.97	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora, 2018

Calderón (2019) señala que el promedio de rendimiento total en molino para arroz comercial es del 69 por ciento. Los porcentajes de rendimiento total obtenidos son registrados como excelentes considerándose dentro del promedio cualquier rendimiento por encima del 60%, según información suministrada por Calderón (2019).

A pesar de trabajar con una variedad criolla y con manejo de cultivo básico, la calidad molinera de los tratamientos aplicados estuvo a niveles conocidos para cultivos comerciales del grano. Calderón, indica que no se han hecho estudios de este tipo en arroz de subsistencia.

Tabla 26. Comparación de medias. Rendimiento en molino por fecha de siembra

Fecha	Medias	
octubre	69.54	A
septiembre	68.54	A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora, 2018

En la Tabla N° 26 se indica que no existe diferencia significativa al 5% de probabilidad en la media de rendimiento por fecha de siembra. Los promedios obtenidos

de rendimiento son considerados altos y representativos del arroz especial, que se comercializa a un mayor costo al consumidor.

Tabla 27. ANOVA Porcentaje de granos enteros

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	618.12	15	41.21	1.41	0.2353	
Tratamiento	131.95	5	26.39	0.90	0.5003	NS
Fecha>Rep	348.77	4	87.19	2.97	0.0445	NS
Fecha	45.79	1	45.79	1.56	0.2259	NS
Tratamiento*Fecha	91.62	5	18.32	0.62	0.6827	NS
Error	586.50	20	29.33			
Total	1204.62	35				

CV 9.3 % r^2 0.51 NS no hay diferencia entre los tratamientos

Como se observa en la Tabla N° 27, la ANOVA no se registran diferencias significativas entre los tratamientos estudiados.

Tabla 28. Comparación de medias. Porcentaje de granos enteros

Tratamiento	Porcentaje	Medias	
5	25% Urea-75% Azolla	60.48	A
6	100% Azolla	59.45	A
3	75% Urea-25% Azolla	58.72	A
4	50% Urea-50% Azolla	58.25	A
2	100% Urea	58.17	A
1	testigo	54.33	A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora, 2018.

En la Tabla N°28, se observan las medias de los tratamientos analizados en la Tabla 27. A pesar de esto, es necesario indicar que, la norma Copanit para arroz comercial, indica como recomendable para cosecha nacional, un mínimo de 53% de granos enteros y de 55 % para granos importados. En la Tabla 28, solo el tratamiento testigo estuvo por debajo de la norma para arroz importado, manteniéndose dentro de los mínimos para arroz

nacional. El ideal de grano entero es del 60%. Es así que el tratamiento 25% urea- 75% *Azolla sp.* estuvo por encima de la media ideal para grano entero. Este dato es interesante tratándose de una variedad de arroz tradicional, utilizada por los campesinos para sus parcelas de subsistencia, en las que la fertilización no es siempre la requerida por el cultivo de acuerdo a la fertilidad del terreno.

Tabla 29. Comparación de medias del porcentaje de granos enteros por fecha de Siembra

Fecha	Medias	
octubre	59.36	A
septiembre	57.11	A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Autora, 2018.

En la Tabla N° 29 se observan las medias de porcentaje de grano entero por fecha de siembra de la Tabla N° 27. Al medir las medias por mes, las correspondientes al mes de octubre están cerca de la aprobada por las normas Copanit. Septiembre es más bajo, pero está igual por encima del mínimo para granos importados o nacionales. Tomando en cuenta de que el ensayo se manejó como un cultivo de subsistencia los datos son muy interesantes.

Costo de fertilizantes nitrogenados utilizados (*Azolla sp.*, urea al 42 %)

Tomando en cuenta que el objeto de estudio principal del ensayo, *Azolla pinnata*, requiere agua para su crecimiento, será necesario establecer una laguna o estanque en los predios del cultivo, tal como se ha desarrollado en Ecuador, por Montaña (2010), en el Instituto Politécnico Superior de Guayaquil.

Para establecer el estanque, se requieren trabajos de campo con jornales que no serán requeridos en las siguientes cosechas de la *Azolla pinnata*, es por esto que presentamos dos costos de fertilización.

Costo de Urea B/ 22.00 (45.45 kg) = 0.05/ kg

Costo de *Azolla sp.* (primera siembra)

- Recolección 4 jornales B/ 60.00
- Preparación de laguna de 100 m² 4 jornales B/ 60.00
- Molido de *Azolla* B/ 15.00 + B/ 10.00 combustible.
- Aplicación 4 jornales B/ 60.00
- Total: B/ 205.00 / 8181kg (0.08/kg) peso seco 2727 kg;

costo de *Azolla sp.* seca B/ 0.08/ kg

Tabla 30. Costo de tratamiento tradicional vs *Azolla sp.* primera cosecha

Tratamiento	Peso urea/ <i>Azolla sp.</i> (kg)	Costo urea por hectárea	Costo <i>Azolla sp.</i> Hectárea	Costo total por hectárea
1	0/0	0.00	0.00	0.00
2	250/0	121.00	0.00	121.00
3	187.5/681.75	91.08	54.54	145.62
4	125/1363.5	60.72	109.08	169.80
5	62.5/2045.25	30.36	163.62	193.98
6	0/2727 kg	0.00	218.16	218.16

Fuente: Autora 2019.

2727 kg por hectárea* 3(humedad)= 8181 kg.

A partir de la segunda cosecha, solo será necesario la limpieza del espejo de agua y la remoción del fondo de la laguna con motocultor para mantener el sello impermeable que asegure el espejo de agua a la altura necesaria para el cultivo de la *Azolla pinnata*

Costo de *Azolla sp.* (segunda cosecha)

- Recolección 3 jornales B/ 45.00
- Molido de azolla B/ 30.00
- Aplicación: 3 jornales: B/ 45.00
- Total: B/ 120.00 / 8181 kg (0.01) peso seco 2720 kg, azolla seca B/ 0.04

Tabla 31. Costo de tratamiento tradicional vs *Azolla sp.* segunda cosecha

Tratamiento	Peso total urea - <i>Azolla sp.</i> (kg)	Costo urea por hectárea	Costo <i>Azolla sp.</i> por hectárea	Costo total por hectárea
1	0/0	0.00	0.00	0.00
2	250/0	121.00	0.00	121.00
3	187.5/681.75	91.08	27.27	118.35
4	125/1363.5	60.72	54.54	115.26
5	62.5/2045.25	30.36	81.81	112.17
6	0/2727 kg	0.00	109.08	109.08

Fuente: autora 2019.

Como se observa en las tablas N° 30 y 31, el costo de la Urea se mantiene , aunque tiende a aumentar cada año; mientras que en el caso de la *Azolla pinnata*, el costo de la primera siembra se eleva en relación a la Urea por la mano de obra de la construcción de la laguna de siembra. Sin embargo, al año siguiente hay una reducción del 50% en el costo de producción de la *Azolla pinnata* utilizada en las aplicaciones a los cultivos. Es de esperar que al pasar varios años el costo sea menor. No se varió el costo de la Urea en la segunda cosecha.

V CONCLUSIONES

- ❖ Los resultados analizados demuestran que estadísticamente no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Ello permite aseverar que los tratamientos aplicados tuvieron resultados similares, por lo que se considera que, la *Azolla sp.* puede ser recomendada como sustituto de la urea en el cultivo de arroz de subsistencia.
- ❖ Los tratamientos del segundo bloque, aplicados quince días antes de la fecha de aplicación en relación al primer bloque, no mostraron diferencias en los resultados finales del ensayo obtenidos en ambos bloques.
- ❖ La presencia de una alta proporción del elemento Manganese, pudo inferir en que los resultados de los tratamientos con altos porcentajes en la mezcla de *Azolla pinnata*, estuviesen cerca de los resultados con urea al 100 %.
- ❖ La calidad molinera de la variedad utilizada no se afectó con los diferentes tratamientos aplicados, salvo el testigo absoluto.
- ❖ Los costos de fertilización de los tratamientos con *Azolla pinnata* se elevan en relación a los de Urea en la primera cosecha, por los costos de la laguna de siembra y otros adicionales. A la segunda cosecha se observa reducción en los costos a casi la mitad del primer año en el manejo de *Azolla pinnata*, corroborando en parte los

resultados de la investigación realizada por Echeverri (2011) en Colombia en el uso de este fertilizante orgánico.

- ❖ A pesar de que los porcentajes de nitrógeno en la planta completa estuvieron por debajo de los niveles críticos del elemento, los rendimientos estuvieron cerca del promedio registrado para la variedad y en el caso de los tratamientos 25% urea- 75% *Azolla sp.* y 100 % *Azolla sp.* que contenían el mayor porcentaje de Azolla (75 y 100 %) sobrepasaron la media de la variedad.
- ❖ Los tratamientos 100% Urea; 25% Urea- 75% *Azolla sp.* y 100% *Azolla sp.* tuvieron las medias más altas entre las diferentes variables analizadas, sobre todo en las de rendimiento y biomasa total.
- ❖ Los resultados obtenidos en media de la altura de planta versus el rendimiento, reafirman lo encontrado por Coronel (2011) en su investigación que indica que el en caso de la aplicación de urea, el nitrógeno incide directamente en el crecimiento vegetativo o follaje de la planta y no en el rendimiento, que fue mejor en los tratamientos con alta proporción de *Azolla pinnata*

VI RECOMENDACIONES

- ❖ Establecer un ensayo en el que se analicen los resultados ubicados en diferentes localidades con diferentes clases de suelo.
- ❖ Realizar varias rondas de ensayos en el mismo lugar, manteniendo las ubicaciones de los tratamientos para determinar si el porcentaje de materia orgánica se mantiene o aumenta al final del periodo de cosecha.
- ❖ Determinar el periodo de mantenimiento de la laguna de cultivo de *Azolla pinnata*, para establecer la vida útil, la rata de crecimiento y el tiempo necesario para renovar el cultivo de la simbiosis *Azolla- Anabaena*
- ❖ Realizar un monitoreo de lagunas en donde se observe la presencia de *Azolla* y caracterizar taxonómicamente las especies existentes en la región de Herrera y Los Santos.

VI BIBLIOGRAFÍA

- BENACCIO, S; AVILÁN W. 1991. Zonificación Agrológica del cultivo de Arroz en Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. Publicaciones FONAIAP. Venezuela. 15 p.
- CALDERÓN, D. 2019. Promedio de rendimiento total en molino de arroz comercial. Comunicación personal vía correo electrónico. Panamá.
- CASTILLERO, H. 2017. Como llego la Azolla a Las Minas. Conversación personal. Panamá.
- CASTRO R; R. NOVO; R. I. CASTRO. 2002. Uso del género *Azolla* como biofertilizante en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). revista Cultivos Tropicales. Vol 23 N° 4; p 5-10. Cuba
- CASTRO, R. M, RODRÍGUEZ; G ÁLVAREZ; M GIL; R, NOVO, R,I CASTRO. 2009. Efecto de la incorporación de abono verde *Azolla* sp en la reducción del daño causado por fitonemátodos en cultivos organopónicos. Cultivos Tropicales, 2009, vol 30, No. 3, p 10-13. Cuba
- CLAROS, J. 2012. Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación2101 vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de aguas residuales con alta carga de nitrógeno amoniacal. Editora Universidad Politécnica de Valencia. España.
- CORONEL, J. 2011, estudio de las especies químicas amonio, nitrito y nitrato en el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno del sistema Anabaena-Azolla, mediante técnicas colorimétricas y su aprovechamiento. Ecuador.
- CHAUX, G. 2011. Evaluación del comportamiento de un sistema de lagunas de *Azolla pinnata* para el tratamiento de efluentes de producción de tilapia. Tesis de maestría. Universidad del Valle, Cali. Colombia.

- CHIEN, S.H; M. GEARHART; D. COLLAMER. 2008. Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: nueva evaluación de los requerimientos de cal. Consultado el 5 de noviembre 2015 en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/1E9B2FDFBC97789C0525755B006EE6D5/\\$file/Acidez+Generada+por+los+Fertilizantes+Nitrogenados.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/1E9B2FDFBC97789C0525755B006EE6D5/$file/Acidez+Generada+por+los+Fertilizantes+Nitrogenados.pdf)
- ECHEVERRY, J. 2011. El uso de Azolla como alternativa en la fertilización nitrogenada del arroz. Consultado el 29 de octubre 2015. Visible en <http://www.fedearroz.com.co/revistanew/arroz496.pdf>
- FERNÁNDEZ, M. 1984. La Urea, fertilizante nitrogenado. IPA La Platina. Documento de internet, consultado el 22 de enero de 2019 en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR02557.pdf>.
- LUMPKIN, T; PLUCKNETT, D. 1980, Azolla: Botany, physiology and use as a Green manure. Econ. Bot. 34, 111-153.
- MONTAÑO, M. 2005. Estudio de la aplicación de Azolla-Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el litoral ecuatoriano. Revista Tecnológica ESPOL, vol 18, N1 147-151. Ecuador
- MONTAÑO, M. 2010. Ecosistemas Guayas (Ecuador): Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad en la perspectiva del Conocimiento Tropical. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández de Elche. España.
- MONTAÑO, M. 2018. Porcentaje promedio de nitrógeno en diferentes muestras de Azolla pinnata en países de sur américa. Comunicación personal, via correo electrónico. Ecuador- Panamá.
- MOORE, A. 1969. Azolla, biology and agronomic significance. Bot. Rev. 35 :17.34.
- NOVO; R CASTRO.2002. Uso del genero *Azolla* como fertilizante en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) Cultivos Tropicales. 2002, vol 23 No 4 p 5-10. Cuba.
- PERNIÁ, B; M. MERO; J. MUNOZ; K. BRAVO; N. MORÁN; J. ZAMBRANO; X. CORNEJO; A. BENAVIDES; G. TORRES. 2016. Plantas Acuáticas con potencial de Fito extracción de Cadmio en arrozales del Cantón, provincia de Guayas, Ecuador. Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales. Vol. 10 N° 2 pag 37-51. Ecuador

- PIERRE, W. H. 1928. Nitrogen fertilizers and soil acidity: I Effects of various nitrogenous fertilizers on soil reaction. Journal of the American Society of Agronomy. 20: 254-269. USA.
- QUIROZ, E. 2015. Guía técnica de producción de semilla de arroz de buena calidad. IDIAP. Panamá.
- RIOS V, C. 2014. Determinación de métodos y tiempo de secado de *Azolla* (*Azolla anabaena*) para obtener un sustrato orgánico en la parroquia Pilguili, cantón Mocha, provincia de Tungurahua. 2014. 123 p. Ecuador.
- ROJAS, C; R, ALVARADO; C. BELMAR. 1983, fertilización nitrogenada en arroz. Efecto sobre algunos parámetros agronómicos del cultivo. Estación experimental Quilamapu. Revista Agricultura Técnica. 43 (4). Chile.
- SADZAWKA, A.; M. CARRASCO; R GREZ; M. MORA. 2006. Acidificación de los suelos volcánicos de Chile. Consultado el 5 de noviembre de 2015 en <http://www2.inia.cl/medios/Descargas/CRI/Platina/ResumenesCongresos/2006/2006-001-sadzawka.pdf>
- SAPIÑA, F. 2006. ¿Un futuro sostenible? El cambio global visto por un científico preocupado. PUV Publicaciones. Valencia, España.
- VALDERRAMA, A. 2012. Fitoextracción de cadmio y cobre inducida por ácido etilendiaminotetracético en cultivo de helecho mosquito (*Azolla filiculoides* Lam.) en solución nutritiva IRRI. Universidad de Talca. Chile.
- VILLARREAL, J.; NAME, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria De Panamá. 110 p.
- VILLARREAL, J; B. NAME; J, SMYTH; E, QUIROZ. 2006. Dosis óptima para la fertilización nitrogenada del arroz para la región central de Panamá. Agronomía Mesoamericana 18 (1) 115.127.